

Reed-cob: tecnologia inovadora de baixo carbono para construção de pequeno porte

Paulo Carneiro, MArch

CAS studio arquitectura

paulofmcf@gmail.com

Alina Jerónimo, MArch

CAS studio arquitectura

alinamjf@gmail.com

Paulina Faria, PhD

CERIS e DEC FCT NOVA

paulina.faria@fct.unl.pt

RESUMO

Como resposta ao desaparecimento progressivo de tecnologias construtivas vernaculares e à energia incorporada mesmo nas tecnologias convencionais para construção de pequeno porte, foi desenvolvida uma tecnologia inovadora de baixo carbono, com materiais de baixo índice tecnológico e que pode ser realizada sem acesso a mão de obra especializada, que se designou por Reed-cob, numa colaboração entre a empresa Fradical, a Universidade NOVA de Lisboa e os autores. É descrito o desenvolvimento da tecnologia e principalmente a construção, caracterização e estado de conservação de uma célula experimental que se encontra em exposição natural há alguns anos. Conclui-se que se trata de uma tecnologia muito eficiente do ponto de vista construtivo em paredes monolíticas para edifícios de pequeno porte. O Reed-cob é um sistema de fácil e rápida construção, sem necessidade de mão-de-obra especializada, de custos controlados e que pode ser realizada com materiais localmente abundantes em várias regiões do mundo. Simultaneamente, com base no que foi analisado, assume-se que o comportamento térmico e mecânico e a durabilidade face aos agentes climáticos é compatível com os requisitos actuais para os sistemas construtivos existentes no mercado. Esta tecnologia tem um impacto ecológico muito positivo porque, além de integrar materiais de baixa emissão de carbono como a terra, as canas e madeira, é termicamente eficaz evitando a utilização de sistemas eletromecânicos de aquecimento e refrigeração e utiliza uma planta altamente invasora, de crescimento rápido e condicionadora dos eco-sistemas. É igualmente importante realçar o potencial de reutilização dos materiais que compõe o sistema construtivo das paredes no final do seu ciclo de vida. No entanto, há que continuar a desenvolver esta investigação e incluir ensaios complementares do ponto de vista mecânico que confirmem as indicações obtidas sobre a resistência do sistema construtivo em regiões com riscos de catástrofe naturais tais como sismos, ciclones e inundações.

INTRODUÇÃO

Procuram-se alternativas tecnológicas contemporâneas ao desaparecimento progressivo de técnicas vernáculas de construção sustentável em todo o mundo (Silveira et al. 2007; Jerónimo & Carneiro 2013) e há necessidade de desenvolvimento de tecnologias construtivas que utilizem materiais de baixa emissão de carbono. Nesse sentido realizaram-se estudos e ensaios para o desenvolvimento de uma tecnologia construtiva de paredes monolíticas, com o objetivo de constituir uma alternativa viável do ponto de vista económico e ecológico à construção convencional de pequeno porte. Assim, com base na técnica construtiva de paredes monolíticas do “cob” (material com base em terra no estado plástico que é empilhado verticalmente formando paredes) (Akinkurolere et al. 2006; Quagliarini et al. 2010) e

introduzindo canas, que são plantas invasivas e abundantes em várias regiões, foi desenvolvida uma tecnologia inovadora de baixa emissão de carbono que se designou por Reed-cob, numa colaboração entre a empresa Fradical, a Universidade NOVA de Lisboa e os autores (Carneiro et al. 2016). Após a construção de alguns muretes experimentais e provetes representativos, executou-se uma célula experimental de planta quadrangular (com cerca de 3 m de lado) que incluiu um contraventamento ligeiro em madeira. O material utilizado para a construção das paredes foi essencialmente terra local e canas, na sua forma integral e após redução a fibras. Foi ainda utilizada cal aérea e uma pozolana com base em resíduos de cerâmica para estabilização da terra (Gomes et al. 2012; Matias et al. 2014). A argamassa de terra, com os estabilizantes e as fibras de canas, foi amassada com água e foi sendo colocada em camadas de cerca de 10-15 cm sobre um embasamento contínuo. Essas camadas de terra foram alternadas com fiadas só de canas colocadas na horizontal sobre cada camada de terra. Não foi utilizada cofragem para a construção das paredes e estas foram executadas em poucos dias por uma equipa não especializada e apenas com recurso a uma misturadora mecânica. A célula foi complementada por uma cobertura com isolamento térmico e uma porta. Duas faces da célula não receberam qualquer acabamento e outras duas foram apenas caiadas. A célula encontra-se em exposição natural há alguns anos. Neste artigo apresenta-se com detalhe toda a tecnologia construtiva Reed-cob desenvolvida e os resultados da monitorização que tem vindo a ser efetuada, assim como vantagens e inconvenientes registados.

DESENVOLVIMENTO DO MÉTODO CONSTRUTIVO

Iniciou-se o estudo desta tecnologia com a elaboração de um murete de dimensões 0,4x2,0x1,7 (m) aplicando sucessivas camadas de argamassa de terra estabilizada com fibras de canas e de canas 1 possibilitou avaliar a viabilidade técnica e económica, o tipo e formulação da argamassa a utilizar, o número de canas por camada, os cimbres que ajudavam a conferir alinhamentos verticais a ambas as faces do murete e os possíveis revestimentos, assim como problemas construtivos e, preliminarmente, o comportamento do murete aos elementos naturais e ao clima. Na construção deste protótipo 1 utilizou-se uma terra local, constituída maioritariamente por argila e areias finas (0-1mm). Utilizou-se uma cuba metálica de 800 l de capacidade para misturar e armazenar a argamassa com base em terra e fibras.



Figura 1 Protótipo 1: (a) Vista de sul com revestimento em reboco de cal; (b) Detalhe da vista de topo com a disposição da pasta com base em terra e fibras e das canas, com superfícies alinhadas pelos cimbres verticais de madeira.

Após a aplicação de vários rebocos de terra sem estabilização e sem qualquer cobertura à chuva optou-se pelo revestimento das superfícies verticais do protótipo 1 com um reboco de cal aérea hidrofugada, areia britada calcária e pozolana constituída por pó de resíduos cerâmicos. Após a construção deste murete - protótipo1 -, procedeu-se à construção de novo murete com um ângulo recto, **como apresenta a figura 2**, para o estudo da esquina e das soluções construtivas específicas necessárias neste caso (protótipo 2). Este protótipo permitiu ainda estudar a elaboração de vãos para portas e janelas e também os casos de juntas de trabalho criadas diariamente. Para a execução deste protótipo 2 reutilizou-se a mesma terra utilizada antes no protótipo 1. No caso dos vãos, optou-se por uma solução construtiva em que se insere um pré aro na estrutura monolítica de terra e canas, que regulariza o vão e permite a fácil acoplação de uma janela ou porta. Por outro lado, a utilização deste pré aro contribui para reduzir ao mínimo a interrupção da parede e, consequentemente, a subsequente ponte térmica criada.

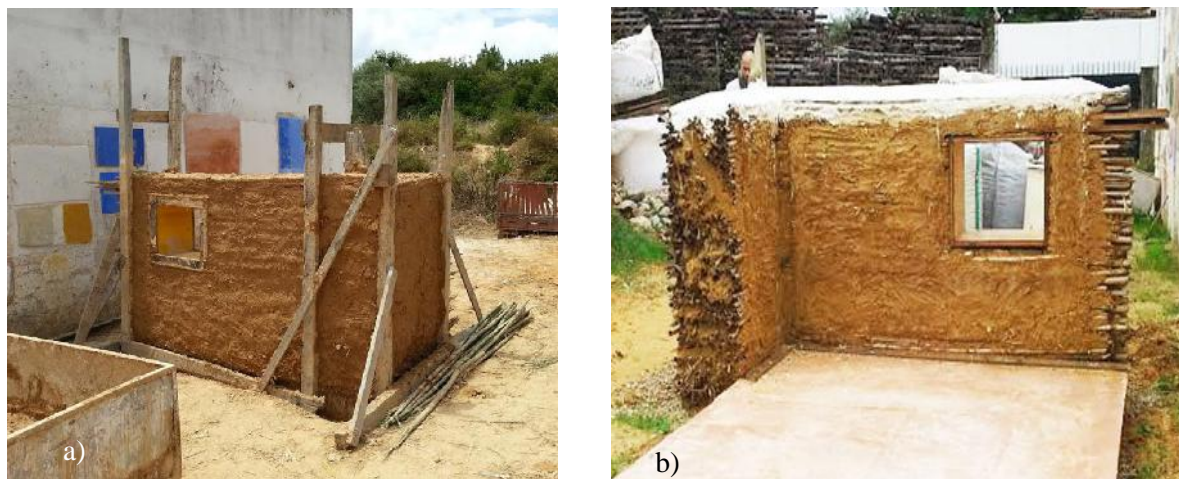


Figura 2 Protótipo 2: (a) Vista da face Sul com cimbres; (b) Vista Norte sem cimbres.

A construção da célula experimental (protótipo 3) foi realizada no Campus da Caparica da Universidade NOVA de Lisboa, na Faculdade de Ciências e Tecnologia. A construção da célula demorou 6 dias e o processo de preparação prévia para a construção da célula teve a duração de 3 dias, com um total de 9 dias. Esta preparação consistiu no corte, secagem e recolha de 2200 canas (*Arundo Donax*) **como apresenta a figura 3**, na execução das fundações num betão ciclópico à base de cal aérea hidrófuga, areão e pedra calcária, e na preparação dos cimbres e estrutura interna de contraventamento das paredes, **como apresenta a figura 4**. Da duração total de 6 dias foram despendidos 4 dias na elaboração das paredes monolíticas e 2 dias para a cobertura, com uma equipa não especializada de 6 pessoas (**Tabela1**).

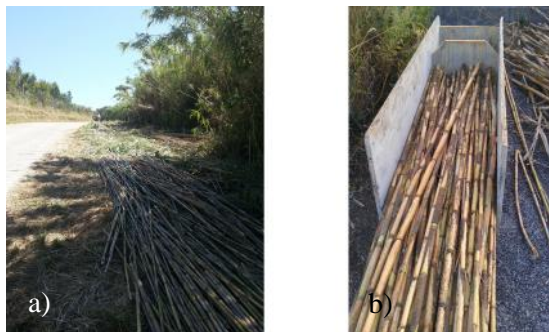


Figura 3 Canas: (a) Corte para recolha e secagem à sombra no canal; (b) Detalhe do corte com bitola para construção das paredes do protótipo 3 no Campus da Universidade Nova de Lisboa.



Figura 4 Protótipo 3 - Construção das fundações, colocação da estrutura interna de contraventamento e dos cimbrês para alinhamento lateral.

Tabela 1. Rendimento e Desenvolvimento do Protótipo 3

Número de Dias	Pessoas	Tarefa	Quantidade
2	3	Corte de canas	2200 unidades
1	3	Fundações + contraventamento	1,5 m ³
4	6	Paredes	7,3 m ³
2	3	Cobertura	10,24 m ²

Para a argamassa utilizou-se uma terra do local, bastante siltosa, um areão da Charneca de Caparica e fibras de canas previamente esmagadas. Efectou-se uma estabilização da argamassa de terra com baixo teor de cal aérea Fradical em pasta e aditivo pozzolânico Fradical (Val et al. 2015). A célula tem as dimensões exteriores de 2,8x2,8x2,0 (m) e foi realizada sobre fundação constituída por uma sapata contínua com secção de 0,4x0,4 (m). A sapata está elevada face à cota do solo apenas 10 cm, embora fosse positivo estar mais sobreelevada para limitar o contacto com vegetação circundante, o respingar da água das chuvas e, em consequência, a potencial erosão das paredes. A estrutura interna de contraventamento é feita com simples barrotes de madeira reaproveitados de cofragens, com secção aproximada de 0,10x0,7 (m), embebidos na fundação (**figura 4**). Ao longo da execução das paredes, os barrotes foram envolvidos pela argamassa de terra e fibras, e pelas canas, **como apresentam as figuras 5 e 6**. Para reforçar a solidariedade estrutural do conjunto e evitar deslocações excêntricas das paredes entrelaçaram-se os barrotes verticais de contraventamento com as camadas horizontais de canas com uma corda de nylon, a cada 5 camadas. Cada camada horizontal, com largura de 0,4 m (largura da parede), é composta em média por 8 canas e envolvida na argamassa de terra e fibras de canas, estabilizada com baixo teor de cal aérea e pozolana. A construção desta célula (protótipo 3) foi realizada com aproximadamente 54 camadas horizontais, algumas das quais podem ser visualizadas **na figura 6**. A média de crescimento das paredes foi de 50 cm por dia ou aproximadamente 14 camadas compostas por argamassa e canas. A equipa de 6 pessoas não especializadas dividiu-se num sistema de rotações de funções:

- Um elemento para o corte e preparação das canas com as dimensões apropriadas para as paredes, com a ajuda de uma serra eléctrica;

- Dois elementos para a produção contínua de argamassa de terra e fibras de cana, utilizando uma auto-betoneira eletromecânica de 500 litros de capacidade;

- Um elemento para a distribuição da argamassa já preparada pelas zonas de construção;
- Dois elementos para a aplicação da argamassa nas paredes.

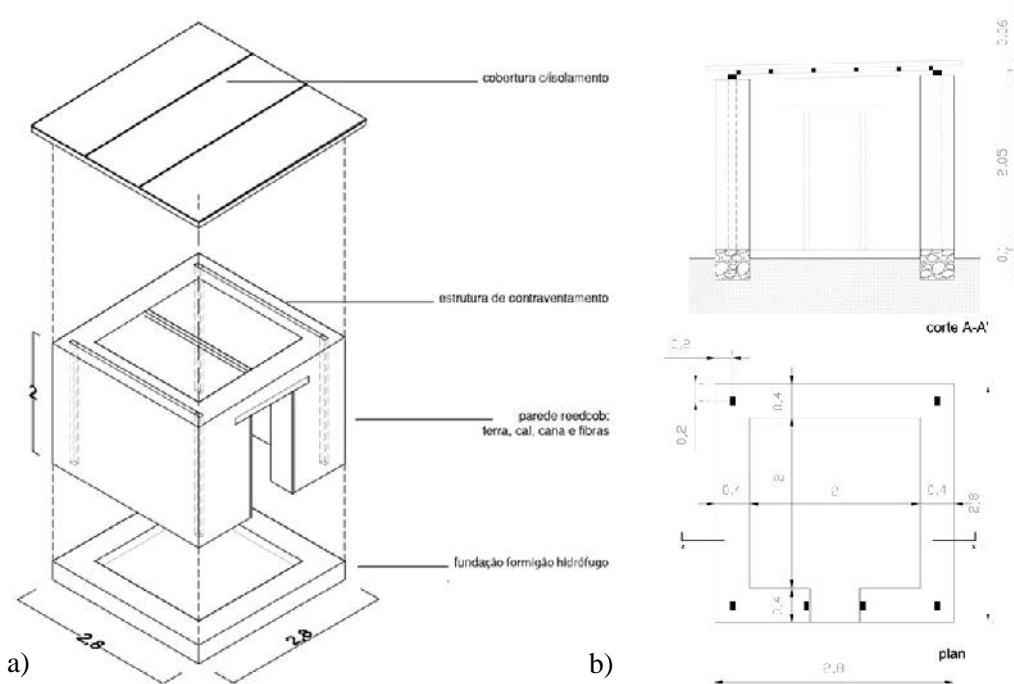


Figura 5 Protótipo 3: (a) Axonometria do sistema construtivo da célula; (b) Planta e corte (unidade: metros)



Figura 6 Protótipo 3: (a) Vista geral da construção das paredes pelos estudantes; (b) Detalhe da construção com a aplicação de uma camada de canas.

A cobertura da célula foi feita com barrotes de madeira colocados na horizontal e a reutilização de tábuas antigas de cofragem, como apresenta a figura 7. Sobre esta estrutura foi colocado poliestireno expandido moldado (EPS) com 10 cm de altura como isolamento térmico e este foi protegido com uma chapa metálica do tipo IBR que sobressai do alinhamento vertical das paredes para as proteger das escorrências das águas da chuva cerca de 20 cm. O EPS foi escolhido apenas por questões de disponibilidade imediata; para efeito do estudo, apresenta um efeito semelhante a outro material de isolamento, mas em situações futuras recomenda-se a utilização de materiais de isolamento térmico

loais, como o aglomerado negro de cortiça ou outros biomateriais, que acrescem contributo também para conforto acústico. As faces Sul e Sudoeste da célula foram aspergidas com um leite de cal aérea hidrófuga. As restantes faces foram propositadamente deixadas sem qualquer tipo de revestimento. No interior da célula não foi aplicado qualquer revestimento. Foi colocada apenas uma porta, feita com reutilização de tábuas de cofragem, de acesso ao interior da célula para colocação e manutenção de equipamentos de leitura higrotérmica, **como apresenta a figura 8.**



Figura 7 Protótipo 3 - Detalhe da construção da cobertura e vão de porta.



Figura 8 Protótipo 3 - Vista geral da célula, com o revestimento de cal na face sul e a porta de acesso na face este.

CARACTERIZAÇÃO DA CÉLULA E DISCUSSÃO

Foram realizados ensaios a provetes realizados reproduzindo a célula (Val et al. 2015) em provetes de 4x4x16 (cm) sem fibras de canas nem canas e em provetes de 10x10x20 (cm) com fibras mas sem e com camadas de canas, e **que são apresentados na Tabela 2.**

Tabela 2. Resultados da Caracterização de Provetes da Célula (com base em Val et al. 2015)

	MV	λ	Ed	Rf	Rc	CC	TS1
	[kg/m ³]	[W (m.K)]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[N/mm ²]	[kg/(m ² .min ^{0,5})]	[kg/(m ² .h)]
Provetes sem fibras	1600		1416	0,09	0,42	1,385	0,136
Provetes com fibras sem canas	1509	0,56	1376	0,23	0,36	2,510	0,051
Provetes com fibras e canas	1030			0,51	0,41		

MV - massa volúmica; λ - condutibilidade térmica; Ed - módulo de elasticidade dinâmico; Rf e Rc - resistências à flexão e compressão; CC - coeficiente de capilaridade; TS1 - taxa de secagem na fase 1

Os resultados dos ensaios efectuados a provetes realizados reproduzindo a célula (protótipo 3) concluem, do ponto de vista térmico e mecânico, a viabilidade da tecnologia. Mostram, tal como expectável, a redução da massa volúmica (MV) com a introdução das fibras de cana e das canas. Mostram ainda que a resistência à compressão se mantem em valores relativamente baixos. A introdução das fibras de canas demonstra ainda a existência de patamares de cedência, que conferiu acréscimo de resistência à flexão e contribuirá para a integridade estrutural.

Em comparação com outros sistemas construtivos com base em terra, como sejam a taipa ou a alvenaria de adobe ou de BTC, o Reed-cob apresenta uma menor massa volúmica, uma maior resistência térmica e maior resistência à flexão mecânica (Heathcote, 2010). Também em comparação com outros sistemas monolíticos, como paredes de taipa ou de betão, esta tecnologia possibilita um trabalho de construção muito rápido e menos “pesado”, sem a necessidade de cofragem ou uso de ferramentas específicas ou mão de obra especializada (Carneiro et al, 2016).

Foram registados valores de temperatura no interior e exterior da célula, **que se apresentam na Figura 9**. À semelhança de outros materiais com base em terra (Chabriac et al. 2014; Fionn et al. 2017), verifica-se o elevado contributo que as paredes apresentam para a estabilidade da temperatura no Verão, mantendo os valores entre 22-16°C quando no exterior variam entre 16-33°C. No Inverno, quando as temperaturas no exterior começam a descer abaixo dos 20°C, o conforto em termos de temperatura no interior só poderá ser assegurado com uma fonte de calor. Na **Figura 10** apresenta-se a temperatura no interior da célula quando se colocou um aquecedor de baixa potência em funcionamento diário das 19h às 7h a partir de 18 de março.

As temperaturas no interior estabilizaram entre 16-25°C, com uma variação diária de cerca de 3°C, enquanto no exterior variavam entre 8-26°C, com uma amplitude diária de cerca de 12°C. Os resultados de monitorização térmica registados no interior da célula comprovam assim que a solução contribui para o equilíbrio da temperatura ambiente, face às amplitudes térmicas registadas no exterior.

Para além disso, avaliou-se a durabilidade da solução construtiva pela monitorização da exposição da célula às diversas condições atmosféricas no Campus da Universidade NOVA de Lisboa durante 3 anos. Tanto as faces protegidas pela caiação como as faces não protegidas não apresentam nenhum sinal de erosão ou destruição. No entanto, recomenda-se que, em situações futuras, se construam socos da fundação um pouco mais elevados para a eventualidade de ocorrência de inundações.

Os resultados das análises estruturais a soluções semelhantes (Watson & McCabe, 2011) confirmam também o alto potencial de utilização desta tecnologia para construções de pequeno porte, mesmo em países de elevado risco sísmico.

A sua adaptabilidade a diferentes regiões é igualmente alta porque a cana gigante utilizada (Arundo Donax) é uma planta invasora em várias regiões do mundo e, nas regiões onde não exista, pode ser facilmente substituída por outro tipo de cana, como o bambu. Uma melhoria que pode ser efectuada em

regiões com bambu será a substituição dos elementos ligeiros de contraventamento e para o alinhamento das paredes, que foram utilizados de madeira, por bambu.

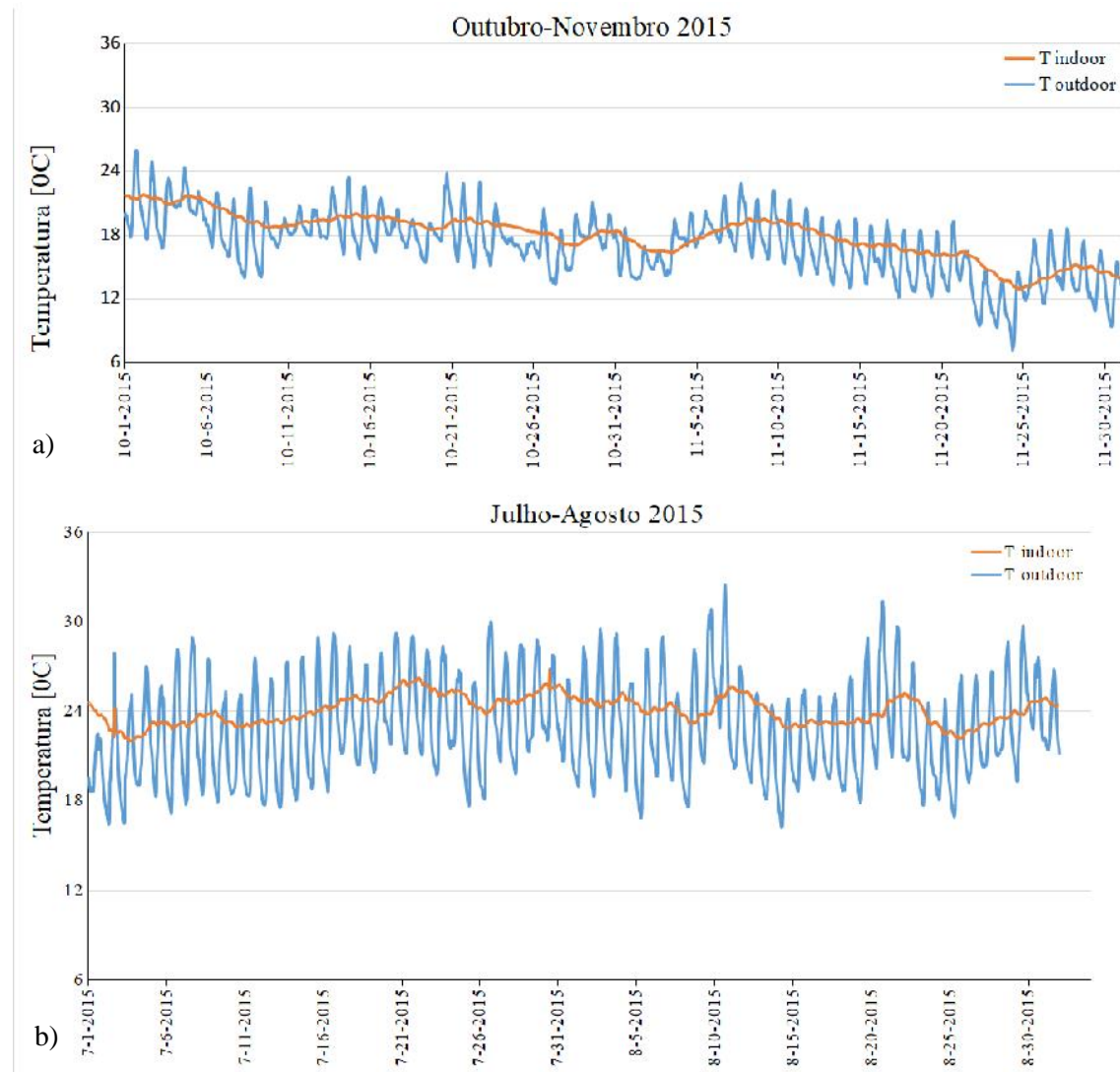


Figura 9 Temperatura no exterior e no interior da célula Reed-cob: (a) Julho-Agosto; (b) Outubro-Novembro 2015.

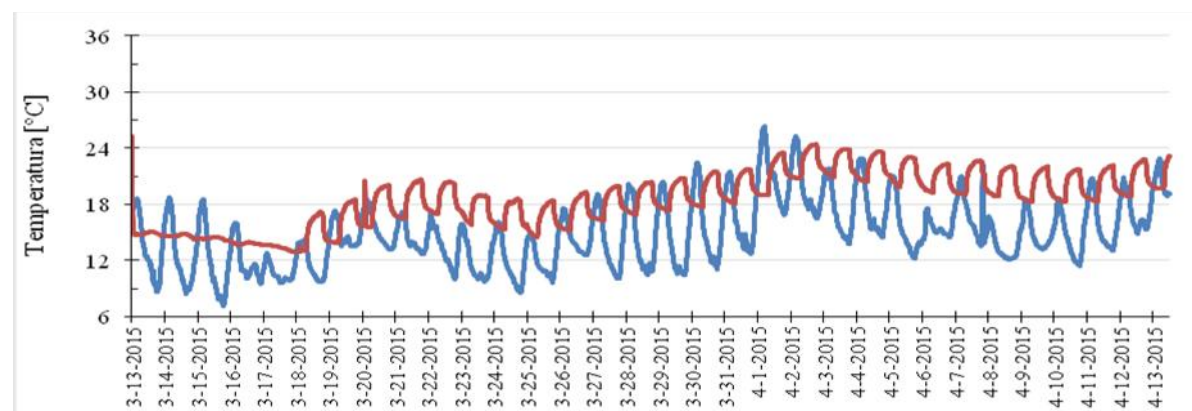


Figura 10 Temperatura no exterior (linha azul) e no interior (linha vermelha) da célula Reed-cob em Março-Abril 2015, com aquecimento intermitente das 19h às 7h a partir de 18 de Março.

CONCLUSÃO

Da tecnologia construtiva Reed-cob resultam paredes monolíticas fáceis, rápidas e económicas de construir, em termos de materiais construtivos utilizados, maioritariamente locais, e com mão-de-obra pouco especializada, com um bom comportamento térmico, mecânico e face aos agentes climáticos.

Será assim interessante alargar esta investigação, incluindo ensaios complementares do ponto de vista estrutural que confirmem as indicações obtidas sobre a resistência do sistema construtivo em regiões com risco sísmico, de ciclone e inundações.

Esta tecnologia tem um alto potencial e impacto ecológico muito positivo porque combina a possibilidade de utilizar uma planta altamente invasora, de crescimento rápido e condicionadora dos ecossistemas, com materiais de baixa emissão de carbono como a terra, e tem ainda potencial de reutilização no final do seu ciclo de vida, tal como foi realizado na construção do protótipo 2 a partir do material do protótipo 1.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam os seus agradecimentos aos engenheiros Diogo Val, Davide Malheiro, Tânia Simões, Tânia Santos e João Nabais pela sua ajuda e esforço enquanto alunos, na construção da célula do protótipo 3 do Reed-cob no Campus da Caparica da Universidade NOVA de Lisboa, assim como ao eng. Vitor Silva por todo o apoio prestado. Também agradecem à empresa FRADICAL pelo investimento e disponibilização de todos os materiais e meios que possibilitaram a elaboração dos vários protótipos e ao projecto DB-Heritage - Base de dados de materiais de construção com interesse histórico e patrimonial (PTDC/EPH-PAT/4684/2014), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, I.P..

REFERÊNCIAS

- Akinkurolere, O.O., Jiang, C., Oyediran, A.T., Dele-Salawu, O.I., Elensinnla, A.K.(2006). Engineering properties of cob as a building material. *Journal of Applied Sciences*, 6 (8), 1882-1885.
- Carneiro, P., Jerónimo, A., Silva, V., Cartaxo, F., Faria, P. (2016). Improving building technologies with a sustainable strategy. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 216, 829–840.
- Chabriac, P.A., Fabbri, A., Morel, J.C., Laurent, J.P., Gonnet, J.B. (2014). A procedure to measure the in-situ hygrothermal behavior of earth walls. *Materials*, 7, 3002-3020.
- Fionn, M., Fabbri, A., Ferreira, J., Simões, T., Faria, P., Morel, J.-C.(2017). Procedure to determine the impact of the surface film resistance on the hygric properties of composite clay/fibre plasters, *Materials and Structures*, 50 (4), 193 (13 pgs.)
- Gomes, M.I., Gonçalves, T.D., Faria, P. (2012). Earth-based repair mortars: experimental analysis with different binders and natural fibers. *Rammed Earth Conservation*, Mileto, Vegas & Cristini (eds.), 2012, Taylor & Francis Group, London, 661-668.
- Heathcote, K. (2010). The thermal performance of earth buildings. *Informes de la Construcción*, 63, 117-126.
- Jerónimo, A. & Carneiro, P. (2013). Le Royaume de Manica, amélioration des systèmes de construction locaux. *Mémoire de DSA, École Supérieure d'Architecture de Grenoble/CRAterre*.
- Matias, G., Faria, P., Torres, I. (2014), Lime mortars with ceramic wastes: characterization of components and their influence on the mechanical behaviour. *Construction and Building Materials*, 73, 523-534.
- Quagliarini, E., Stazi A., Pasqualini E., Fratolocchi E. (2010). Cob construction in Italy: Some lessons from the past. *Sustainability*, 2, 3291-3308.
- Silveira, D., Varum, H. & Costa, A. (2007). Rehabilitation of an important cultural architectural heritage: the traditional adobe constructions in Aveiro district, University of Aveiro, Portugal. *WIT Transaction on Ecology and the Environment*, 102, 702-709.
- Val, D., Faria, P., V. Silva (2015). Solução construtiva eco-eficiente de paredes monolíticas. Contributo para a sua caracterização. *CONPAT 2015 – XIII Congresso Latino-Americano de Patologia da Construção (CD)*.
- Watson, L. & McCabe K. (2011). The cob building technique. Past, present and future. *Informes de la Construcción*, 63, 59-70.